

## **MIRRIG: sistema de apoio à decisão para microrrega. Aplicação aos espaços verdes**

Celestina M.G. Pedras<sup>1,2</sup>, Maria I.S. Valín<sup>2,3</sup> & Luís S. Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal, cpedras@ualg.pt

<sup>2</sup>CEER – Centro de Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349 – 017 Lisboa, Portugal, lspereira@isa.utl.pt

<sup>3</sup>Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Refóios do Lima, 4990–706, Ponte de Lima, Portugal, isabelvalin@esa.ipvc.pt

### **Resumo**

MIRRIG é um sistema de apoio à decisão (DSS), desenvolvido para o projecto e avaliação da microrrega em funcionamento. Este DSS é constituído por uma base de dados e por modelos: de *projecto* e de *avaliação* dos sistemas de microrrega. A base de dados contém informação relativa aos emissores, tubos, solos, plantas e alternativas de projecto de rega. Os modelos de *projecto* visam apoiar o dimensionamento de várias alternativas de sistemas de microrrega e procurar a solução mais adequada atendendo, quer às preferências do decisor, quer aos aspectos técnicos, económicos e ambientais. A componente de *avaliação* visa ajudar a decidir sobre as estratégias a utilizar na condução e manutenção dos sistemas de microrrega em funcionamento, por forma a assegurar a sustentabilidade económica e ambiental da rega. Atendendo aos desafios que se colocam ao nível da rega dos espaços verdes, é objectivo deste artigo apresentar o DSS MIRRIG neste âmbito e mostrar os resultados da sua aplicação a norte e a sul de Portugal.

**Palavras-chave:** sistema de apoio à decisão, microrrega, projecto, avaliação, espaços verdes, hidrozona.

### **Abstract**

**MIRRIG: decision support system for microirrigation systems, applied to the landscape.**

MIRRIG is a decision support system (DSS), developed to design and evaluation of microirrigation system under operation. This DSS comprise a database and the models: design and evaluation. The database contains information on emitters, pipes, soils, as well as plants and the systems under design. Design models allow creating and comparing a set of design alternatives based upon an integration of technical, economic and environmental criteria, and may be useful to maximize the beneficial use of water for irrigation of golf courses and public landscape areas. The evaluation component is a tool to advise decision maker about how to improve their microirrigation systems when using data obtained during field evaluation of systems under operation. This article describes the DSS MIRRIG and presents the results of its application in two different landscapes in Portugal (Esposende and Faro).

**Keywords:** Decision Support System, microirrigation systems, design, evaluation, landscape, hydrozone.

### **Introdução**

Nas últimas décadas tem-se vindo a registar um aumento da área ocupada pelos espaços verdes públicos e privados. Estes espaços assumem, hoje em dia, uma relevância fundamental na qualidade de vida das populações e surgem como uma necessidade de um equilíbrio ecológico saudável no meio urbano. No entanto, o acréscimo na área verde, em zonas Mediterrânicas onde a precipitação é irregular ao longo ano e com os meses secos no Verão, está, inevitavelmente, associado a um aumento do consumo em água. Por outro lado, a inexistência de planeamento de hidrozonas obriga a que a programação da rega se realize com base nas espécies mais exigentes em água. Não sendo raro encontrar regas que ocorrem por excesso (dando origem a escorrência superficial) ou por defeito (em casos extremos, provocando a ausência de vegetação). Assinala-se assim, a necessidade de procurar soluções mais amigas do ambiente, que contribuam para a conservação dos recursos naturais e para o aumento do rendimento produtivo da água ou seja, que reduzam a factura económica.

O recurso aos sistemas de apoio à decisão (DSS) pode ajudar a desmitificar a complexidade de que se reveste a microrrega, quer durante o funcionamento dos sistemas de rega, identificando a

necessidade de intervenção com vista à melhoria do seu desempenho, quer na fase de projecto, apoiando na escolha de soluções mais adequadas aos espaços verdes. Estas soluções, quando implementadas em zonas sujeitas a escassez hídrica, garantem a sustentabilidade destes espaços, atendendo não só a harmonia paisagística mas, também, os objectivos económicos e ambientais. DSS MIRRIG permite, assim, fazer face a esta necessidade, dada a capacidade para projectar e avaliar sistemas de microrrega em funcionamento. O modelo já mostrou ser de grande utilidade no âmbito dos sistemas agrários (Pedras, 2007; Pedras & Pereira, 2009). É objectivo deste artigo apresentar o DSS MIRRIG atendendo aos resultados das auditorias realizadas aos espaços verdes existentes a norte e a sul de Portugal.

### **Modelo**

DSS MIRRIG foi desenvolvido para o projecto de rega gota a gota e micro-aspersão, e para a avaliação de desempenho a partir das auditorias realizadas aos sistemas de rega em funcionamento. Os resultados obtidos nesta análise permitem fazer um rastreio aos sistemas de rega e decidir sobre as estratégias a utilizar na condução da rega e na exploração do sistema, para um funcionamento mais eficaz, contribuindo assim, para a sustentabilidade dos espaços verdes em zonas sujeitas a escassez hídrica.

A estrutura conceptual do modelo apresentada na fig. 1 identifica dois componentes principais: a base de dados e os modelos. A base de dados é constituída por um conjunto de informação referente às características dos emissores (gotejadores e micro-aspersores) e aos tubos disponíveis no comércio, às plantas, aos solos, aos projectos de microrrega e aos dados da auditoria aos sistemas de rega. Cada projecto de microrrega pode conter várias soluções alternativas para uma mesma parcela.

Os modelos de projecto incluem (Keller & Bliesner, 1990):

- o dimensionamento que permite construir iterativamente vários sistemas de rega alternativos atendendo aos objectivos de máximo desempenho. Estes sistemas de rega podem diferir relativamente aos tubos, aos emissores, ao traçado da rede, à presença de válvulas reguladoras de pressão, à pressão e/ou ao caudal à cabeceira;

- a simulação que visa reproduzir na realidade o funcionamento dos sistemas rega alternativos e determinar os indicadores de desempenho técnicos, económicos e ambientais (quadro 1); e

- a análise multicritério que permite avaliar e ordenar as alternativas de projecto atendendo aos valores alcançados pelos indicadores na simulação (ora designados por critérios) e às preferências do utilizador, de acordo com a metodologia ELECTRE II (Roy, 1996). Estes critérios estão agrupados por objectivo (quadro 2), pelo que a cada objectivo pode estar associado mais do que um critério.



Figura 1 - Estrutura conceptual do MIRRIG

Quadro 1 - Indicadores determinados na simulação das alternativas de Projecto.

Indicadores	Equações
Uniformidade de Emissão, EU (%)	$EU = 100 \left[ 1,0 - \frac{1,27C_v}{\sqrt{np}} \right] \frac{q_n}{q_a}$
Coeficiente de Uniformidade, UC (%)	$UC = 100 \left[ 1,0 - \frac{1}{nq_a} \sum_{i=1}^n  q_i - q_a  \right]$
Coeficiente de Variação de caudal do emissor, Vq	$V_q = \frac{q_x - q_n}{q_x}$
Coeficiente de Variação da Pressão, VH	$V_H = \frac{H_x - H_n}{H_x}$
Défice hídrico relativo, P <sub>D</sub> (%)	$P_D = 100 \left( 1 - \frac{q_{qd}}{q_a} \right)$
Potencial de contaminação estimado pelo volume de água percolado para fora da zona radicular, Vp (mm/ano)	$V_p = \frac{N_{se}}{10Ap} \left( \frac{t_r}{60} \right) N_r \sum_{i=1}^{n_{qe}} (q_i - q_a)$
Percentagem de área humedecida, P <sub>aw</sub> (%)	$P_{aw} = 100 \left( \frac{a_w}{a_p} \right)$
Necessidades hídricas brutas Ig (mm/dia)	$I_g = \frac{I_n}{(EU/100)(1 - LR)} T_r$
Duração da rega, t <sub>r</sub> (mm/dia)	$t_r = \frac{G}{q_a np} 60$
Custo fixo anual, AFC (€/ano)	$AFC = \left[ \frac{T_{ac}(1 + T_{ac})^{npa}}{(1 + T_{ac})^{npa} - 1} \right] \sum_{k=1}^{n_{comp}} \left( IC_k + \sum_{j=1}^{n_{sub}} \frac{IC_k}{(1 + T_{ac})^{(j^*U_k) - U_k}} \right)$
Custo de operação e manutenção, OMC (€/ano)	$OMC = C_{en} + C_w + C_{ma}$

onde: **A<sub>p</sub>** - área da parcela m<sup>2</sup>; **a<sub>w</sub>** - área humedecida por sector m<sup>2</sup>; **a<sub>p</sub>** - área do sector; **C<sub>en</sub>** - custo da energia consumida para elevar da água da rega (€ ano-1), quando o sistema recorre a bombagem; **C<sub>ma</sub>** - custo da mão-de-obra necessário para manter o sistema de microrrega em níveis de desempenho considerados aceitáveis (€ ano-1); **C<sub>op</sub>** - custo da mão-de-obra para operar o sistema de microrrega (€ ano-1); **C<sub>v</sub>** - coeficiente de variação de fabrico; **H<sub>n</sub>** - pressão mínima (m); **H<sub>x</sub>** - pressão máxima (m); **IC<sub>k</sub>** - custo inicial de substituição do componente k (€); **n<sub>sub</sub>** - número total de aquisições do componente no período de análise; **n<sub>comp</sub>** - número total de componentes; **n** - número de emissores na amostra; **np** - número de emissores por planta; **npa** - período de análise (anos); **n<sub>qe</sub>** - número de emissores onde q<sub>i</sub> > q<sub>a</sub>; **N<sub>r</sub>** - número de regas anuais; **N<sub>se</sub>** - número de sectores do sistema rega; **q<sub>a</sub>** - caudal médio (L h<sup>-1</sup>); **q<sub>i</sub>** - caudal no emissor i (L h<sup>-1</sup>); **q<sub>n</sub>** - caudal mínimo (L h<sup>-1</sup>); **q<sub>qd</sub>** - valor médio dos caudais dos emissores em que q<sub>i</sub> < q<sub>a</sub>; **q<sub>x</sub>** - caudal máximo (L h<sup>-1</sup>); **T<sub>ac</sub>** - taxa de inflação; **T<sub>r</sub>** - tempo de rega (min/dia); **U<sub>k</sub>** - tempo de vida do componente k (anos).

Quadro 2 - Objectivos e atributos usados na análise multicritério.

<b>Objectivos</b>	<b>Atributos</b>
Minimização dos custos	Custo fixo Anual, AFC
	Custo de Operação e Manutenção, OMC
	Défice hídrico relativo, PD
Minimização do impacto ambiental	Volume de água percolado indicando o potencial para o transporte de agro-químicos para for a da zona radicular, Vp
Maximização do desempenho hidráulico	Uniformidade de Emissão, EU
	Sensibilidade ao entupimento, SC
	Sensibilidade dos emissores à variação da temperatura, STV

Os modelos de avaliação permitem determinar os indicadores de desempenho (quadro 3) a partir das auditorias realizadas aos sistemas de rega em funcionamento. A optimização dos recursos usados nos espaços verdes públicos e um controle mais adequado dos impactos ambientais ligados à rega requer que se faça um acompanhamento do projecto após a sua concepção/instalação, para que a solução escolhida se ajuste à situação real da parcela a regar.

Quadro 3 - Indicadores de desempenho calculados na avaliação dos sistemas de rega.

Indicadores	Equações
Carga média no emissor, $H_a$ (kPa)	$H_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$
Caudal médio no emissor, $q_a$ (l h <sup>-1</sup> )	$q_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$
Coefficiente de variação do caudal, $V_{qs}$	$V_{qs} = \frac{\left\{ \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n q_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n q_i \right)^2 \right] \right\}^{1/2}}{q_a} (np)^{-1/2}$
Coefficiente de variação da carga hidráulica, $V_{hs}$	$V_{hs} = \frac{\left\{ \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n H_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n H_i \right)^2 \right] \right\}^{1/2}}{H_a}$
Coefficiente de variação do desempenho dos emissores, $V_{pf}$	$V_{pf} = (V_{qs}^2 - x^2 V_{hs}^2)^{1/2}$
Uniformidade de distribuição, DU (%)	$DU = 100 \frac{Z_{lq}}{Z_{la}}$

onde:  $x$  - o expoente característico do emissor;  $Z_{lq}$  - altura média de água recolhida no menor quartil (mm);  $Z_{av}$  - média das alturas de água recolhidas (mm).

### Caso de estudo:

Durante as campanhas de rega de 2009 e 2011 realizaram-se auditorias aos espaços verdes existentes a sul e a norte de Portugal, respectivamente.

Em Faro, foram realizadas avaliações nos espaços verdes existentes na Universidade do Algarve (fig. 2). A maioria dos canteiros tinha instalado um tubo flexível com gotejadores autocompensantes. O aspecto visual destes canteiros é pobre apresentando densidades de cobertura irregulares resultantes de espaçamentos demasiado grandes relativamente à capacidade de redistribuição da água no solo. Os gotejadores avaliados eram dos mais recentes, com cerca de 2 anos, mas havia gotejadores a funcionar nos espaços verdes do Campus com mais de 10 anos.



Figura 2 - Gotejadores instalados em canteiros em Faro.



Na cidade de Esposende foi avaliado um sistema de rega por aspersão instalado num relvado. O sector avaliado é constituído por 8 aspersores, marca Rain Bird 5000plus, n.º 2 com um alcance de 10,1 m (fig. 3), funcionando a 500 kPa de pressão. No local do ensaio, distribuíram-se 24 colectores com um compasso de 1m x 1m. A duração do ensaio foi de 10 min e realizaram-se 3 repetições.



Figura 3 - Malha de 24 colectores instalados no sistema de rega por aspersão em Esposende.

#### **Resultados e Discussão:**

O quadro 4 apresenta os indicadores de desempenho obtidos com base nos dados de campo e calculados com a ajuda do modelo MIRRIG. A variabilidade dos caudais dos gotejadores, expressa pelos indicadores, UD,  $V_{qs}$  e UC são excelentes de acordo com os parâmetros indicados pela ASAE-EP458 (2004), para os dos sistemas de rega gota-a-gota avaliados (sectores 1, 2 e 3). No caso da rega por aspersão, os valores UD são inferiores ao 70%, considerado como aceitável (Meriam & Keller, 1978).

O coeficiente de variação da carga hidráulica  $V_{hs}$  apresenta valores superiores a 10% em todos os sectores gota a gota avaliados, mas tal não se reflecte na variação dos caudais  $V_{qs}$  visto se tratar de gotejadores auto-compensantes. Os parâmetros  $V_{qs}$ ,  $V_{hs}$  e  $V_{pf}$  não foram avaliados na rega por aspersão.

Os baixos valores do coeficiente de variação do desempenho do emissor  $V_{pf}$  devem-se essencialmente à ausência de emissores entupidos nos sectores avaliados, apesar de termos verificado a presença de gotejadores entupidos em sectores não avaliados, que normalmente estão associados à ausência de vegetação nessa área.



A figura 4 apresenta as alturas de água recolhidas numa malha de colectores em três avaliações realizadas ao sistema de rega. As alturas médias de água recolhidas nas 3 repetições (a, b, c) foram de 3,2; 2,8 e 1,7 mm respectivamente. A programação de rega aplicada pelos técnicos camarários no período de máxima exigência hídrica é de 20 min, com uma frequência diária.

Quadro 4 - Indicadores de desempenho obtidos nos sistemas de rega avaliados.

Indicadores	Sul			Norte		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Asp1	Asp2	Asp3
Percentagem de solo humedecido(%)	60	83	88	100		
Altura de água aplicada (mm dia <sup>-1</sup> )	2,9	6,2	6,2	3,2	2,8	3,0
UD (%)	91,9	96,7	96,0	59,8	46,8	57,7
UC (%)	96,7	97,4	96,9	80,5	79,5	79,7
q <sub>a</sub> (l h <sup>-1</sup> )	3,8	8,0	8,1	560		
H <sub>a</sub> (kPa)	99,0	107,8	107,8	500		
V <sub>qs</sub> (%)	9,6	9,6	6,0	-	-	-
V <sub>hs</sub> (%)	10,6	18,6	18,6	-	-	-
V <sub>pf</sub> (%)	7,4	5,4	6,0	-	-	-

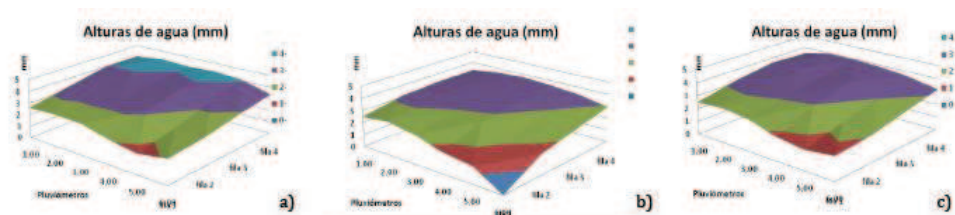


Figura 4 - Distribuição da pluviometria em três ensaios de aspersão (a; b; c) realizados em Esposende.

Verifica-se assim a necessidade de implementar estratégias que visem melhorar a uniformidade de distribuição da água na parcela regada por aspersão, contribuindo deste modo para aumentar a eficiência no uso da água e garantir a conservação dos recursos. Com a ajuda do DSS MIRRIG é possível desenvolver sistemas de microrrega alternativos quer superficiais quer enterrados, com vista à sustentabilidade dos espaços verdes públicos e em zonas sujeitas a escassez hídrica.

Por outro lado, os jardins sustentáveis devem ainda atender o valor paisagístico, pelo que, na concepção de espaços verdes há que atender ainda: à escolha preferencial de espécies autóctones, que deverão ser agrupadas no terreno de acordo com as suas necessidades hídricas, ou seja, delimitação de hidrozonas; evitar a colocação de relvados em zonas com declive acentuado, sendo preferível colocar espécies tapetizantes; optar por espécies resistentes à secura; optar por sistemas de rega automáticos de modo a poder programar diferentes frequências e durações da rega para maximizar a eficiência no uso da água e fertilizantes (caso haja fertirrega); realizar avaliações dos sistemas de rega no início da campanha de rega para afinar o seu funcionamento; obedecer às especificações o equipamento de rega consideradas no projecto.

### **Conclusões**

Este artigo apresenta os resultados de auditorias realizadas aos espaços verdes a norte e a sul de Portugal. Com a ajuda do DSS MIRRIG foi possível determinar os indicadores desempenho, detectar os problemas de funcionamento geradores de fraco desempenho e decidir sobre as estratégias a utilizar na condução/exploração do sistema ou até mesmo ao nível do projecto para um funcionamento mais eficaz, e, assim, contribuir para a sustentabilidade desta actividade em zonas sujeitas a escassez hídrica.

### **Referências**

- ASAE-EP458. 2004. Design and installation of microirrigation systems. In: ASAE Standards 2004. Standards Engineering Practices Data, St Joseph (EUA), 2004, ASAE, pp. 992-928.
- Keller, J. & Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold. New York.

- Merriam, J.L. & Keller, J. 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A guide for Management. Dept. Agricultural and Irrigation Engineering, Utah St. University, Logan.
- Pedras, C.M.G. 2007. DSS MIRRIG: Aplicação em citrinos no Algarve. II Congresso de Rega e Drenagem. Fundão, Portugal, (26 a 28 Junho 2007, Fundão, Portugal).
- Pedras, C.M.G., Farrajota, M.P., Valín, M.I. & Pereira, L.S. 2010. A rega nos espaços verdes públicos. Caso de estudo: Campus Gambelas da Universidade do Algarve. In: 10.º Congresso da Água (Março, 2010, Alvor, Portugal).
- Pedras, C.M.G., Pereira, L.S. & Gonçalves, J.M. 2009. MIRRIG: A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. Agric. Water Manage 96, 4, 691-701.
- Valín M.I., Castro, R., Pedras, C.M.G. & Pereira, L.S. 2011. Uso del agua en espacios verdes: Cálculo y evaluación de estrategias de riego. In: VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. (Fevereiro, 2011, Talavera de la Reina, Espanha).